



แนวปฏิบัติโต้แย้งในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

Argumentation Practice in Engineering Design Process

ธารุเสณ ประสพลาภ^{1*} พงศ์ประพันธ์ พงษ์โสภณ² เอกภูมิ จันทรชันทิ³ และ ชาตรี ฝ้ายคำตา⁴

Tharueseon Prasoplarb^{1*} Pongprapan Pongsophon² Ekgapoom Jantarakantee³ and Chatree Faikhamta⁴

บทคัดย่อ

แนวปฏิบัติโต้แย้งถูกบรรจุในแนวปฏิบัติวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ เป็นพื้นที่สำคัญที่ขับเคลื่อนการรู้วิทยาศาสตร์ไปสู่การปฏิบัติวิทยาศาสตร์ ทำทนายให้ผู้เรียนประยุกต์ความรู้ในการแก้ปัญหาโลกจริงได้ อย่างไรก็ตาม การสอนแนวปฏิบัติโต้แย้งยังเต็มไปด้วยความท้าทายสำหรับครู ทั้งการจำแนกข้อกล่าวอ้างของการโต้แย้งออกจากการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ความเข้าใจของผู้สอนต่อธรรมชาติของการโต้แย้ง อีกทั้งยังมีการเชื่อมโยงแนวปฏิบัติโต้แย้งสู่การสอนเพิ่มเติมเพื่อมุ่งสู่บริบทที่สมจริง บทความฉบับนี้มุ่งที่จะเชื่อมต่อการสอนแนวปฏิบัติโต้แย้งควบคู่กับกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ผ่านการสำรวจระบบนิเวศของลักษณะสำคัญเชิงวิศวกรรมที่ได้จาก ธรรมชาติของวิศวกรรมศาสตร์ ธรรมชาติของความรู้ทางวิศวกรรมศาสตร์ ความฉลาดรู้ทางวิศวกรรมศาสตร์ แนวปฏิบัติวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งสะท้อนเชื่อมโยงสู่กลไกของการโต้แย้งสำคัญสามประการ ได้แก่ การพิสูจน์ความถูกต้อง การโน้มน้าว และการตัดสินใจ ไปสู่การสำรวจจุดร่วมของการโต้แย้งและกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ที่จะกลายเป็นแนวทางสำคัญสำหรับสนับสนุนครูให้ออกแบบประสบการณ์เรียนรู้ด้วยการโต้แย้งและสามารถอำนวยความสะดวกในการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เพื่อยกระดับผู้เรียนให้กลายเป็นผู้ให้เหตุผลบนการปฏิบัติของตนเอง และเชื่อมต่อแนวปฏิบัติต่าง ๆ เพื่อการแก้ปัญหาที่พบในชีวิตประจำวันได้

คำสำคัญ: แนวปฏิบัติโต้แย้ง, กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม, สะเต็ม, การรู้คิดเกี่ยวกับการปฏิบัติ

Article Info: Received 1 October, 2022; Received in revised form 11 December, 2023; Accepted 13 December, 2023

¹ นักศึกษาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา ภาควิชาศึกษาศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อีเมล: tharueseon.pr@ku.th

Doctor of Philosophy in Division of Science Education, Department of Education, Faculty of Education, Kasetsart University

Email: tharueseon.pr@ku.th

^{2,3,4} อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา ภาควิชาศึกษาศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Lecturer in Division of Science Education, Department of Education, Faculty of Education, Kasetsart University

Email: Pongprapan.p@ku.ac.th, feduepj@ku.ac.th, feductf@ku.ac.th

* Corresponding Author

Abstract

Argumentation practice is consisted in science and engineering practices (SEPs) that play a crucial role in shifting science education from “knowing science” to “doing science” while also challenging the learner to solve real-world problems. However, teaching argumentation practice in science classrooms has become a challenge for teachers in regard to distinguishing argumentation from constructing scientific explanations, understanding the nature of argumentation, and embedding argumentation in STEM to a more authentic context. This article aims to draw the teaching of argumentation practice with the engineering design process through investigating the ecology of engineering features synthesized from the nature of engineering, nature of engineering knowledge, engineering literacy, and engineering practice. These engineering elements resonate with the three functions of argumentation; verification, persuasion, and justification, all of which exist as a commonality between argumentation and the engineering design process. Through this, teachers would be supported in facilitating and designing argumentation experience in the engineering design process to enhance learner’s epistemic agency, which would allow them to connect these practices to solving problems in their daily lives.

Keywords: argumentation practice, engineering design process, STEM, epistemic practice

บทนำ

แนวความคิดการบูรณาการระหว่างศาสตร์ในชุมชนวิทยาศาสตร์ศึกษา มุ่งสนับสนุนให้ผู้เรียนเผชิญหน้าปัญหาจริงที่มีความซับซ้อนและไม่สามารถใช้ความรู้หรือหลักการศาสตร์ใดเพียงศาสตร์หนึ่งแก้ไขได้ (Cunningham & Kelly, 2017) ผ่านปัญหาหรือความท้าทายที่มีลักษณะผันผวน ไม่แน่นอน ซับซ้อน หรือคลุมเครือ อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีอย่างรวดเร็ว ต่างออกไปจากการจัดการเรียนรู้แบบเดิมที่มุ่งให้ผู้เรียนได้รู้วิทยาศาสตร์ (knowing science) ที่ครอบคลุมทั้งการตั้งคำถาม สืบเสาะ รวบรวมข้อมูลหลักฐาน จนได้มาซึ่งข้อสรุป นำไปสู่การพิสูจน์สิ่งที่ค้นพบให้ได้รับการยอมรับและมีความน่าเชื่อถือตามการปฏิบัติวิทยาศาสตร์ (doing science) ที่มุ่งเน้นให้ผู้เรียนมีความเข้าใจในกระบวนการและเป้าหมายของการตั้งคำถาม การดำเนินการตรวจสอบ ไปจนถึงการเชื่อมโยงหลักฐานเชิงประจักษ์มาใช้ในการอธิบายโต้แย้ง หรือ นำเสนอผลการศึกษาได้อย่างเหมาะสม (NGSS Lead States, 2013; Osborne & Patterson, 2010) หรือที่ถูกระบุเป็นแนวปฏิบัติวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ (science and engineering practices) ที่ประกอบด้วย 1) การตั้งคำถามทางวิทยาศาสตร์ และการนิยามปัญหาทางวิศวกรรมศาสตร์ 2) การสร้างและการใช้แบบจำลอง 3) การวางแผนและการดำเนินการสำรวจตรวจสอบ 4) การวิเคราะห์และการแปลความหมายข้อมูล 5) การใช้คณิตศาสตร์และการคิดคำนวณ 6) การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ และการออกแบบวิธีการแก้ปัญหาทางวิศวกรรมศาสตร์ 7) การมีส่วนร่วมในการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์จากหลักฐานที่ได้รับ และ 8) การสืบค้นการประเมิน และการสื่อสารทางด้านสารสนเทศ โดยแนวปฏิบัติโต้แย้ง (argumentation practice) เป็นหนึ่งในแนวปฏิบัติที่มุ่งเน้นให้ผู้เรียนสามารถทำการวิพากษ์ (critiquing practice) เพื่อเชื่อมต่อการสำรวจตรวจสอบและการสร้างความสมเหตุสมผลของผู้เรียนในการประยุกต์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Sampson & Clark, 2008)

จากแนวคิดข้างต้น ผู้เขียนเปรียบเทียบกิจกรรมการโต้แย้งในชั้นเรียนวิทยาศาสตร์ โดยกิจกรรมที่หนึ่ง คือ การให้ผู้เรียนพิสูจน์ความถูกต้องของผลการทดลองให้สอดคล้องตามทฤษฎี พบว่า เมื่อเลือกแนวคิดหรือเนื้อหาปลายปิดหรือมีมุ่งหาคำตอบที่เป็นไปตามทฤษฎี บท กฎ นิยาม การโต้แย้งอาจไม่ได้ทำ ‘หน้าที่’ อย่างสมบูรณ์ เพราะขาดความสำคัญในการเชื่อมโยงหลักฐานที่พบเข้ากับข้อเท็จจริง แต่มุ่งเน้นการให้เหตุผลว่าเพราะเหตุใดการทดลองจึงไม่เป็นไปตามทฤษฎี ในขณะที่กิจกรรมที่สอง คือ การวิพากษ์ความน่าเชื่อถือของผลการดำเนินการทดลอง โน้มน้าวให้ผู้อื่นเห็นด้วยและยอมรับ ร่วมสะท้อนประเด็นที่ผลไม่เป็นไปตามทฤษฎี ซึ่งเป็นการเปิดโอกาสให้ผู้เรียนพัฒนาความเข้าใจต่อการเรียนรู้แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ผ่านข้อเท็จจริง หรือกล่าวได้ว่า การโต้แย้งสามารถทำ ‘หน้าที่’ ได้อย่างสมบูรณ์ โดย Konstantinidou and Macagno (2012) พบว่าการโต้แย้งที่แตกต่างกันส่งผลให้การได้มาซึ่งความรู้ของผู้เรียนต่างกัน ผู้เขียนจึงขอเชิญชวนผู้สอนและผู้อ่านทุกท่านร่วมกันสำรวจความเข้าใจและความพร้อมในการสอนแนวปฏิบัติโต้แย้งในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ในประเด็นต่าง ๆ ประกอบไปด้วย ความสับสนไหลระหว่างแนวปฏิบัติการสร้างคำอธิบายและการโต้แย้งธรรมชาติและแนวปฏิบัติเชิงวิศวกรรมที่เชื่อมต่อกับกลไกการโต้แย้ง และโมเดลตัวแทนความคิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมสู่การกำหนดการโต้แย้งในชั้นเรียนวิทยาศาสตร์

ความสับสนไหลระหว่างแนวปฏิบัติการสร้างคำอธิบายและการโต้แย้ง

แนวโน้มการสอนแนวปฏิบัติโต้แย้งในวิทยาศาสตร์ศึกษาตลอด 60 ปี ตั้งแต่ที่ Toulmin (2003) ได้เปรียบเทียบกิจกรรมขององค์กรวิทยาศาสตร์ (science enterprise) มาเป็นส่วนสำคัญในการขับเคลื่อนชั้นเรียนวิทยาศาสตร์ แต่เดิมการโต้แย้งนั้นเป็นเพียงกิจกรรมที่ช่วยตีข้อพิพาทหรือความเห็นต่าง นำไปสู่การกำหนดข้อสรุป มีการสนับสนุนแนวความคิดที่เห็นด้วย หรือลดทอนความน่าเชื่อถือของกลุ่มความคิดเห็นที่แตกต่างออกไป กลไกข้างต้นได้ถูกนำมาปรับใช้เพื่อบ่งชี้ระดับทักษะการโต้แย้งของผู้เรียนในชั้นเรียนวิทยาศาสตร์ ผ่านการเขียนข้อสรุปจากการโต้แย้ง การเขียนให้ความเห็นสนับสนุนหรือคัดค้านต่อประเด็นที่กำหนดให้ โดยเชื่อมโยงหลักฐานประกอบการสนับสนุนความคตินั้น ๆ อย่างเหมาะสม (Christian, Kelly, & Bugallo, 2021; Lin & Mintzes, 2010; Sampson & Clark, 2008; Simon et al., 2006) อย่างไรก็ตาม การทบทวนเอกสารเกี่ยวกับการศึกษาการจัดการเรียนรู้ผ่านการโต้แย้ง พบประเด็นที่ก่อให้เกิดความเข้าใจคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการสอนโต้แย้งในสามประเด็นหลัก ๆ ดังนี้

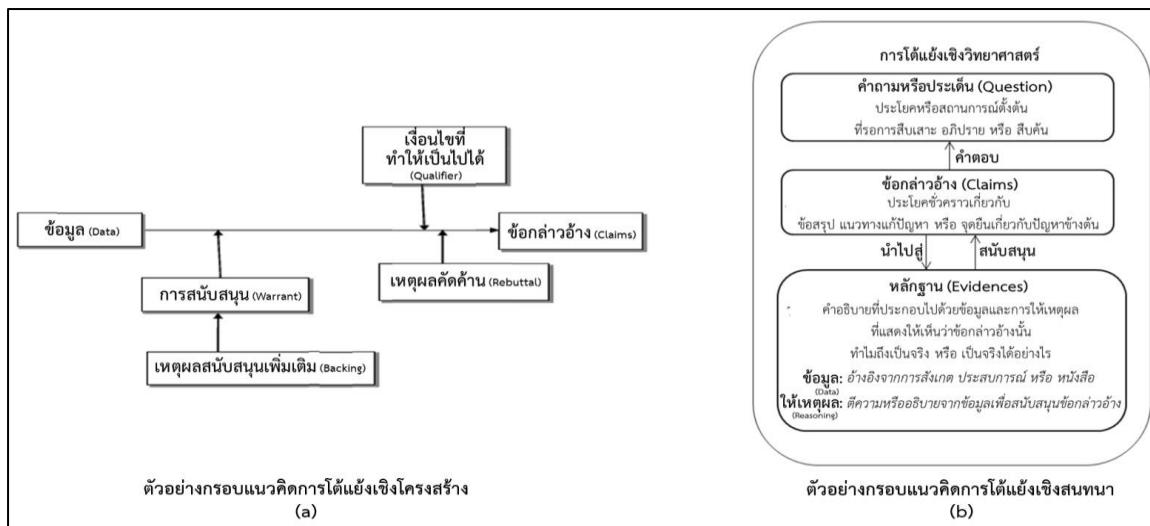
1) การสอนแนวปฏิบัติโต้แย้ง มีความหมายเท่ากับกิจกรรมการถกเถียง การนำเสนอผลการทดลอง หรือการอภิปรายผลการทดลอง ในขณะที่การโต้แย้งมีความลุ่มลึกมากกว่ากิจกรรมที่คิดต่างหรือมีความขัดแย้งโดยทั่วไป โดยการโต้แย้งแต่ละรอบผู้เรียนจะได้มีโอกาสสร้างหรือพัฒนาข้อสรุปเดิมของตนเองให้เหมาะสมและสอดคล้องกับกิจกรรมโต้แย้งที่เกิดขึ้นซึ่งยังพบเห็นในการศึกษาพัฒนาครูในปัจจุบัน (Christian, Kelly, & Bugallo, 2021; Sampson & Clark, 2008) เช่นนั้นแล้ว การจัดการเรียนรู้ด้วยการโต้แย้งอาจไม่ใช่การอภิปรายว่า “กลุ่มใดได้ผลการทดลองเป็นไปตามทฤษฎีบ้าง เพราะเหตุใดจึงทำได้ถูกต้อง” ซึ่งประเด็นดังกล่าวไม่ได้ก่อให้เกิดการคิดต่างหรือการขัดแย้งทางความคิดที่นำไปสู่การโต้แย้งได้ แต่เป็นเพียงประเด็นตั้งต้นที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ ในขณะที่ประเด็น “ผลการทดลองที่ต่างออกไปจากทฤษฎีนั้นมีส่วนใดที่ยังน่าเชื่อถือ ทำไมจึงเป็นเช่นนั้น” จะทำให้ผู้เรียนร่วมกันอภิปราย หรือ นำไปสู่การวิพากษ์ความน่าเชื่อถือ และอาจต่อยอดประเด็นด้วยคำถามกระตุ้นว่า “หากจะพัฒนาให้ผลการทดลองมีความน่าเชื่อถือเพิ่มมากขึ้น จะทำเช่นไร” จะพบว่าการใช้ประเด็นเหล่านี้ส่งเสริมให้ผู้เรียนได้เชื่อมโยง

จากข้อมูลที่ได้มาก่อนหน้า รวมถึงออกแบบหรือเสนอแนวทางการปรับปรุงกระบวนการทำงาน ที่อาจไม่ได้มีคำตอบที่เป็นปลายปิดระหว่าง “วิธีการที่ถูก” หรือ “วิธีการที่ไม่ถูก” เท่านั้น

2) การประเมินแนวปฏิบัติโต้แย้งของผู้เรียน เป็นการประเมินในช่วงท้ายของกิจกรรมโต้แย้งหรือประเมินผ่านการเขียน ที่เป็นการสรุปความคิดของผู้เรียนที่รวบยอดจากกิจกรรมโต้แย้งแล้วเท่านั้น ในขณะที่การโต้แย้งนั้นเป็นกิจกรรมที่ถูกพิจารณาเป็นสองรูปแบบ คือ การโต้แย้งเชิงโครงสร้าง (structural argumentation) ที่มีองค์ประกอบและลำดับขั้นตอนที่ชัดเจน ดังตัวอย่างภาพ 1a แสดงกรอบแนวคิดการโต้แย้งเชิงวิทยาศาสตร์โดย Erduran และคณะ (2004) ที่ปรับจาก แบบรูปการโต้แย้งของโทลมิน (Toulmin’s Argumentation Pattern: TAP) แสดงถึงการขับเคลื่อนกระบวนการโต้แย้งที่ดำเนินการไปในทิศทางเดียว มุ่งให้ได้มาซึ่งข้อกล่าวอ้าง โดยมุ่งใช้กระบวนการโต้แย้งองค์ประกอบการสนับสนุนหรือคัดค้าน เพื่อได้มาซึ่งผลลัพธ์ที่จะถูกนำไปประเมินในขั้นท้ายของการเรียนรู้ ต่างออกไปจากการโต้แย้งเชิงสนทนา (dialogical argumentation) ที่มุ่งเน้นคุณภาพการสนทนาระหว่างสมาชิกในการโต้แย้ง ดังตัวอย่างภาพ 1b แสดงกรอบแนวคิดการโต้แย้งเชิงวิทยาศาสตร์ โดย Chen และคณะ (2014) มีลักษณะเป็นกระบวนการพลวัต (dynamic process) ไปมา ระหว่างการปรับข้อกล่าวอ้างด้วยการค้นหาหลักฐาน และเชื่อมโยงหลักฐานสนับสนุนข้อกล่าวอ้างอย่างสมเหตุสมผล ดังที่ระบุไว้ในการศึกษาของ Chen และ Terada (2021) เกี่ยวกับการเรียนรู้ตามธรรมชาติของกระบวนการโต้แย้งที่เน้นการประเมินผ่านการสนทนา (talks) หรือการเขียน (writings) ซึ่งไม่จำกัดการประเมินที่ผลลัพธ์เท่านั้นแต่สามารถประเมินการปรับปรุงข้อกล่าวอ้างระหว่างหรือตลอดการโต้แย้ง

ภาพ 1

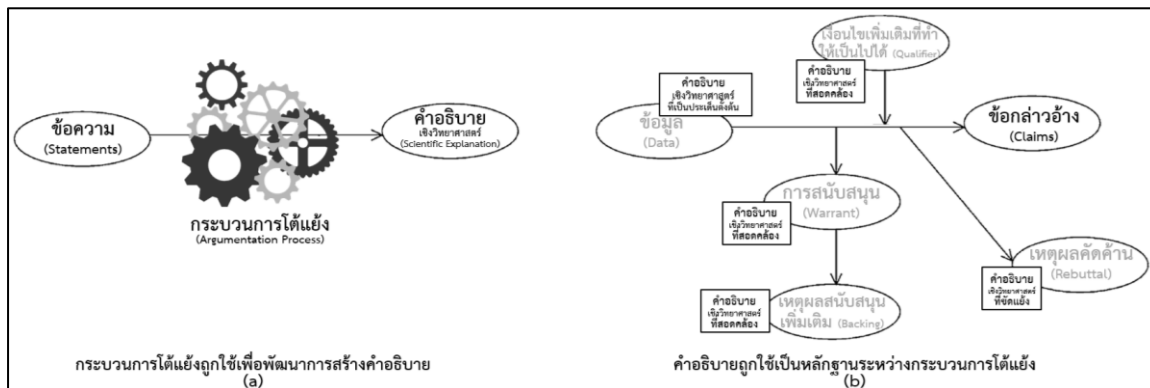
กรอบแนวคิดการโต้แย้งเชิงวิทยาศาสตร์เชิงโครงสร้าง (ทิศทางเดียว) และเชิงสนทนา (พลวัต)



3) ข้อกล่าวอ้างคือจุดร่วมที่ทำให้การสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์และการโต้แย้งเชิงวิทยาศาสตร์หลอมรวมเข้าด้วยกัน ความเข้าใจคลาดเคลื่อนข้างต้นเกิดจากสองแนวปฏิบัติมีจุดร่วมที่ข้อความ (statements) แม้ว่าจะมีการศึกษาที่แสดงถึงความสัมพันธ์ ว่าการโต้แย้ง (ถูกพิจารณาเป็นกระบวนการ) ช่วยปรับปรุงและพัฒนากonstruktion คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (ถูกพิจารณาเป็นผลลัพธ์) ได้ (Cunningham & Kelly, 2017; Sampson & Clark, 2008) หรือ คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (ถูกพิจารณาเป็นหลักฐาน) เป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการโต้แย้งเชิงวิทยาศาสตร์ (Christian, Kelly, & Bugallo, 2021; Lin & Mintzes, 2010) ดังแสดงเปรียบเทียบในภาพที่ 2a และ 2b ตามลำดับ

ภาพ 2

ความสัมพันธ์ระหว่างแนวปฏิบัติการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์และการโต้แย้งเชิงวิทยาศาสตร์



ในขณะที่การศึกษาของ Osborne and Patterson (2010) ได้ชี้ถึงความต่างระหว่างธรรมชาติของการสร้างคำอธิบายและการโต้แย้ง โดยธรรมชาติของการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (nature of constructing the scientific explanation) คือการมุ่งอธิบายสถานการณ์หรือปรากฏการณ์หนึ่ง ๆ ภายใต้อำนาจ 3 คำถามสำคัญว่า “เรารู้อะไร (what we know?)” “ทำไมถึงเกิดสิ่งนั้นขึ้น (why it happens?)” และ “เรารู้อย่างไรว่าเป็นเช่นนั้น (how we know?)” ด้วยข้อความรู้ แนวคิด กฎ หรือ หลักการทางวิทยาศาสตร์ ในขณะที่ธรรมชาติของการโต้แย้ง (nature of argumentation) คือ มุ่งตัดสินใจหรือลงข้อสรุปด้วยกระบวนการที่ช่วยยืนยันความสมเหตุสมผล ที่ผู้เขียนได้สังเคราะห์ชุดคำถามสำคัญ 3 ข้อ “เราได้ข้อสรุปอย่างไร (what is our claim?)” “ทำไมเราถึงสรุปมาแบบนี้ (why we claim like that?)” และ “เราหาแสวงหา (how to seek?) ให้น่าเชื่อถือได้อย่างไร” เพื่อเป็นคำถามสำคัญแบบคู่ขนานระหว่างสองแนวปฏิบัติ

อย่างไรก็ดี มาตรฐานการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ยุคใหม่ (Next Generation Science Standards: NGSS) ประเทศสหรัฐอเมริกา (National Research Council, 2012) ได้ขยายขอบเขตของแนวปฏิบัติทั้งสอง แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ที่เชื่อมโยงระหว่างสองแนวปฏิบัติ ผ่านมุมมองของวิศวกรรมศาสตร์ เช่น การใช้หลักฐานเชิงประจักษ์ที่ได้จากการทดสอบนำไปสู่การตัดสินใจ หรือการระบุแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพื่อทำให้แบบร่างแนวทางแก้ปัญหาที่มีความสมบูรณ์ขึ้น ดังที่เสนอความสอดคล้องระหว่างการโต้แย้งและแนวคิดเชิงวิศวกรรมในลำดับถัดไป

ธรรมชาติและแนวปฏิบัติเชิงวิศวกรรมที่เชื่อมต่อกับกลไกการโต้แย้ง

วิศวกรรมเป็นศาสตร์สำคัญที่เชื่อมต่อการใช้ความรู้ในการแก้ปัญหา เป็นส่วนเติมเต็มในการบูรณาการศาสตร์ในการจัดการเรียนรู้เพื่อฝึกฝนให้แก้ปัญหาหนึ่ง ๆ ได้ลุล่วง (Cunningham & Kelly, 2017; Kelly & Licona, 2018) การจะใช้วิศวกรรมเป็นส่วนหนึ่งในการจัดการเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพสามารถทำความเข้าใจได้เรียงตามลำดับจากธรรมชาติของวิศวกรรมศาสตร์ (Nature of Engineering: NOE) และธรรมชาติของความรู้ทางวิศวกรรมศาสตร์ (Nature of Engineering Knowledge: NOEK) เพื่อให้เข้าใจวิถีคิดของการทำงานเชิงวิศวกรรม เป้าหมายของการออกแบบและแก้ปัญหาเชิงวิศวกรรม (Antink-Meyer & Brown, 2019; Pleasants & Olsen, 2018) สืบเนื่องไปสู่ความฉลาดรู้ทางวิศวกรรมศาสตร์ (Engineering Literacy: EL) ที่เป็นฐานในการพัฒนารอบแนวคิดความฉลาดรู้ทางสะเต็ม (STEM literacy) ได้รับความรู้และความสามารถในการดำเนินการทางวิศวกรรม

(Zollman, 2012) และต่อยอดไปสู่แนวปฏิบัติทางวิศวกรรมศาสตร์ (Engineering Practice: EP) ที่มุ่งพัฒนาผู้รู้บน การปฏิบัติของตนเอง (epistemic practice) ผ่านการปฏิบัติงานภายใต้ 4 แนวทางสำคัญ คือ เป็นการปฏิบัติที่มีความสัมพันธ์ต่อกัน (interactional) เชื่อมต่อกับบริบท (contextual) เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงได้ (intertextual) และมีผลสืบเนื่อง (consequential) (Cunningham & Kelly, 2017; Kelly, 2016; Kelly & Licona, 2018) จากการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง พบความสอดคล้องขององค์ประกอบระหว่างกรอบแนวคิด ทั้งธรรมชาติของ วิศวกรรมศาสตร์ (กำหนดด้วยรหัส N1 - N9) ธรรมชาติของความรู้ทางวิศวกรรมศาสตร์ (กำหนดด้วยรหัส K1 - K7) ความฉลาดรู้ทางวิศวกรรมศาสตร์ (กำหนดด้วยรหัส L1 - L5) และแนวปฏิบัติทางวิศวกรรมศาสตร์ (ที่กำหนดด้วยรหัส P1 - P16) ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยผู้เขียนดำเนินการศึกษาตีความนิยามเชิงปฏิบัติการหรือความหมายของงานวิจัย ข้างต้น ใช้การวิเคราะห์เชิงเนื้อหา (content analysis) ร่วมกับการวิเคราะห์เชิงอุปนัย (inductive analysis) แล้ว ดำเนินการตรวจทานร่วมกับหนึ่งในผู้เขียนร่วมและผู้เชี่ยวชาญภายนอกอีกสามท่านผ่านการจัดการสนทนากลุ่ม (focus group) เพื่อกำหนดเป็น นิเวศการเรียนรู้ทางวิศวกรรม (ecology of engineer learning) ที่แตกต่างกัน 5 พื้นที่ เพื่อเป็นแนวทางสำคัญในการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ต่าง ๆ โดยมุ่งหมายให้ผู้เรียนใช้ความรู้และการปฏิบัติเชิง วิศวกรรมในการแก้ปัญหาหนึ่ง ๆ ให้ลุล่วงเช่นวิศวกรคนหนึ่ง (working as an engineer) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ตาราง 1

พื้นที่เชิงนิเวศการเรียนรู้ทางวิศวกรรม

นิเวศการเรียนรู้ทางวิศวกรรม	ธรรมชาติของวิศวกรรมศาสตร์	ธรรมชาติของความรู้ทางวิศวกรรมศาสตร์	ความฉลาดรู้ทางวิศวกรรมศาสตร์	แนวปฏิบัติทางวิศวกรรมศาสตร์
1) ขอบเขตงานทางวิศวกรรมศาสตร์	N2) ข้อกำหนด ข้อจำกัด และเป้าหมายที่ส่งผลต่อการทำงานของวิศวกรในการออกแบบแนวทางแก้ปัญหา N5) ขอบเขตการทำงานของวิศวกรรมศาสตร์	K4) มีมิติเฉพาะด้าน	L2) พัฒนาแนวทางที่เป็นประโยชน์ต่อมนุษย์	P5) ตระหนักถึงส่วนได้ส่วนเสียจากเงื่อนไข/ข้อจำกัด P12) มีความมุ่งมั่นและเรียนรู้จากความผิดพลาด P16) ตระหนักถึงการทำงานแบบวิศวกรในตนเอง
2) การใช้ความรู้ระหว่างศาสตร์ของวิศวกรรม	N3) ที่มาของความรู้ทางวิศวกรรมศาสตร์ มีความรู้ภายในศาสตร์และความรู้ที่นำมาจากศาสตร์อื่นเพื่อเสริมการทำงาน N4) การสร้างความรู้ทางวิศวกรรมศาสตร์ N9) ความสัมพันธ์ระหว่างวิศวกรรมศาสตร์และวิทยาศาสตร์ ทั้งเชิงผลักดันและส่งเสริมกัน	K7) มีความเป็นสหวิทยาการ	L1) ความรู้ในการใช้คณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ ศึกษาทดลอง ปฏิบัติ L4) การประยุกต์หลักการคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์อย่างสร้างสรรค์ในทางปฏิบัติ	P7) ประยุกต์ความรู้ทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหา P8) ประยุกต์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในการแก้ปัญหา
3) กระบวนการทำงานออกแบบทางวิศวกรรม	N1) เป้าหมายการออกแบบเชิงวิศวกรรมศาสตร์มีเป้าหมายเพื่อแก้ปัญหา อาจมีจุดร่วมหรือต่างจากศาสตร์อื่น N6) โมเดลกระบวนการออกแบบ	K1) มีแนวทางแก้ปัญหา	L3) ความสามารถ เชิงระบบและกระบวนการ L5) ประสิทธิภาพในกระบวนการออกแบบ	P1) พัฒนาวิธีการแก้ปัญหา P4) สร้างสรรค์วิธีการ/แบบร่าง P6) ใช้การคิดเชิงระบบ P10) สร้างแบบจำลอง/ต้นแบบ P13) ประเมินการทดสอบแนวทางแก้ปัญหา

ตาราง 1 (ต่อ)

พื้นที่เชิงนิเวศการเรียนรู้ทางวิศวกรรม

นิเวศการเรียนรู้ทางวิศวกรรม	ธรรมชาติของวิศวกรรมศาสตร์	ธรรมชาติของความรู้ทางวิศวกรรมศาสตร์	ความฉลาดรู้ทางวิศวกรรมศาสตร์	แนวปฏิบัติทางวิศวกรรมศาสตร์
4) การตัดสินใจทางวิศวกรรมด้วยหลักฐาน		K3) อยู่บนพื้นฐานของหลักฐานเชิงประจักษ์		P3) คิดหาแนวทางแก้ปัญหาที่หลากหลาย P9) สืบเสาะสมบัติของวัสดุที่ใช้ P11) ตัดสินใจด้วยหลักฐานเชิงประจักษ์
5) อิทธิพลต่องานทางวิศวกรรม	N7) การปลูกฝังวัฒนธรรมของวิศวกรรมศาสตร์ N8) วัฒนธรรมภายในองค์กรทางวิศวกรรมศาสตร์	K2) มีการตอบสนองตามบริบท K5) มีการขับเคลื่อนด้วยปัจจัยทางสังคมวัฒนธรรม K6) เป็นกระบวนการทางสังคม	L6) ความรู้ด้านการผลิตและด้านเศรษฐศาสตร์	P2) พิจารณาปัญหาร่วมกับผลกระทบต่อบริบท P14) ทำงานร่วมกันเป็นกลุ่มอย่างมีประสิทธิภาพ P15) สื่อสารกันอย่างมีประสิทธิภาพ

1) ขอบเขตงานทางวิศวกรรม: วิศวกรรมศาสตร์มีขอบเขตและความเฉพาะตัวในการทำงาน ภายใต้การคำนึงถึงความต้องการของลูกค้า เงื่อนไข ข้อจำกัด ส่วนได้ส่วนเสีย ค้นหาแนวทางที่เป็นประโยชน์หรือดีกว่าเดิม ภายใต้การดำเนินการแบบวิศวกรรมจากมิติที่เกี่ยวข้องและมุมมองที่หลากหลาย

2) การใช้ความรู้ระหว่างศาสตร์ของวิศวกรรม: วิศวกรรมศาสตร์เชื่อมโยงการใช้ความรู้ระหว่างศาสตร์แบบสหวิทยาการ ตระหนักถึงความสัมพันธ์ระหว่างศาสตร์ที่สนับสนุนหรือส่งเสริมกัน และนำความรู้จากศาสตร์อื่น เช่น การประยุกต์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์หรือคณิตศาสตร์ มาเสริมการทำงานทางวิศวกรรมให้ลุล่วง

3) กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม: วิศวกรรมศาสตร์ทำงานผ่านกระบวนการออกแบบ มุ่งใช้การออกแบบเพื่อแก้ปัญหา เป็นกระบวนการที่มีความเป็นระบบระเบียบเพื่อกำหนดแนวทางแก้ปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพ ทำงานผ่านการสร้างแบบร่างและตัวต้นแบบเพื่อใช้ในการทดสอบ

4) การตัดสินใจทางวิศวกรรมด้วยหลักฐาน: วิศวกรรมศาสตร์ตัดสินใจบนหลักฐานเชิงประจักษ์ ผ่านการออกแบบและสำรวจตรวจสอบ ทางเลือก แนวคิด หรือวัสดุประกอบการดำเนินการที่มีมากกว่าหนึ่งทางเลือก ผ่านการตัดสินใจโดยใช้หลักฐานประกอบอย่างสมเหตุสมผล

5) อิทธิพลต่องานทางวิศวกรรม: วิศวกรรมศาสตร์มีลักษณะขององค์กรหรือวัฒนธรรมการทำงานอย่างวิศวกร มุ่งทำงานหรือแก้ปัญหาร่วมกัน สื่อสารกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีความเกี่ยวข้องกับทั้งวัฒนธรรมภายในองค์กร และอิทธิพลที่ขับเคลื่อนจากภายนอกทั้งด้านบริบทสังคม วัฒนธรรม และเศรษฐศาสตร์

การโต้แย้งกลายเป็นหนึ่งแนวปฏิบัติที่จะช่วยขับเคลื่อนนิเวศการเรียนรู้ทางวิศวกรรมข้างต้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ Berland และ Reiser (2009) ได้ระบุฟังก์ชันหรือกลไกของการโต้แย้งไว้สองลักษณะคือ 1) การพิสูจน์ตรวจสอบ (verifications) กับ 2) การโน้มน้าว (persuasions) ดังแสดงในสถานการณ์ท้าทายเพิ่มเติมตัวอย่าง ที่มุ่งให้ผู้เรียนสร้างสรรค์เมนูเครื่องดื่มสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน ระหว่างการเลือกใช้ สารทดแทนความหวาน ไซรัปแบบซีโร่แคลอรี เพียวเร่หรือแยมผลไม้ทำเอง หรือสารสกัดหญ้าหวาน ที่มุ่งหมายให้ผู้เรียนใช้กลไกการพิสูจน์ตรวจสอบผ่านการโต้แย้งว่าจะเลือกตัวเลือกใดในการดำเนินการศึกษาของตนเอง พร้อมทั้งเชื่อมโยง

หลักฐานสนับสนุนประกอบการเลือก ไม่ใช่เพียงเลือกตามความเชื่อส่วนตัวหรือประสบการณ์เดิม ทั้งนี้พบว่ามีความเชื่อที่เลือกที่เข้ากับผู้ป่วยเบาหวานได้มากกว่าหนึ่งตัวเลือก เช่นนั้นแล้วกลไกการโน้มน้าวผ่านการโต้แย้งจะช่วยขับเคลื่อนผู้เรียนไปสู่ข้อสรุปรายกลุ่มว่าจะเชื่อถือในฉันทามติส่วนใหญ่ หรือยังยืนยันที่จะเลือกตัวเลือกที่ต่างออกไปโดยมีเหตุผลหรือหลักฐานในการสนับสนุนแนวคิดของตนเอง ทั้งนี้พบว่าการแก้ปัญหาแบบบูรณาการ ศ ก ส ต ร ห ร อ การแก้ปัญหาเชิงวิศวกรรมที่ลุล่วง ไม่เพียงแต่ต้องคำนึงถึงตัวเลือกที่มีประสิทธิภาพที่สุด แต่ต้องคำนึงถึงตัวเลือกที่เหมาะสมกับสภาพบริบทหรือเงื่อนไขและข้อจำกัดนั้นมากที่สุด เช่น สารสกัดหญ้าหวานถึงจะเป็นตัวเลือกที่มีผลข้างเคียงน้อยที่สุด แต่ก็ต้องใช้ในปริมาณมากต่อสัดส่วนเครื่องดื่มในหนึ่งแก้ว เช่นนั้นแล้วการผสมกับสารทางเลือกอื่น ๆ ให้ได้ความหวานตามที่ต้องการ อยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสมต่อหนึ่งแก้ว และเหมาะสมกับผู้ป่วยโรคเบาหวานสามารถบริโภคได้อย่างปลอดภัย พบว่า สถานการณ์ดังกล่าวแสดงถึงฟังก์ชันหรือกลไกของการโต้แย้งอีกหนึ่งลักษณะคือ 3) การตัดสินใจ (justification) ซึ่งสามกลไกที่เสนอไว้จะช่วยส่งเสริมการปฏิบัติวิพากษ์ (critiquing practice) ของผู้เรียนให้มีความลุ่มลึกควบคู่กับการพัฒนาการใช้เหตุผลและหลักฐานผ่านการโต้แย้ง ตลอดจนการคลี่คลายปัญหาหรือแนวทางแก้ปัญหานั้นได้

โมเดลตัวแทนความคิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมสู่การกำหนดการโต้แย้งในชั้นเรียนวิทยาศาสตร์

การเข้าใจฐานคิดเกี่ยวกับการโต้แย้งในลักษณะการรู้คิดบนการปฏิบัติ ช่วยให้ผู้สอนตระหนักถึงความเป็นไปได้ในการออกแบบกิจกรรมโต้แย้งในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมขั้นต่าง ๆ การให้เหตุผลบนการปฏิบัติของตนเอง (epistemic practice) เป็นเหมือนแกนของแนวปฏิบัติวิศวกรรม (Cunningham & Kelly, 2017; Kelly, 2016; Kelly & Licona, 2018) ที่ผลักดันผู้เรียนให้สามารถให้เหตุผลเบื้องหลังการปฏิบัติของตนเอง เพื่อบรรลุเป้าหมายในการปฏิบัตินั้น นำไปสู่การปรับปรุงหรือพัฒนาการปฏิบัติ ช่วยแยกผู้เรียนออกจาก การลองผิดลองถูก (trial and error) หรือ ทำไปตามสัญชาตญาณ (a gut feeling) การทบทวนเอกสารแสดงนิยาม คือ การให้เหตุผลบนการโต้แย้งของตนเอง (epistemic argumentation) ที่สะท้อนถึงลักษณะแนวทางของการโต้แย้ง เปรียบได้กับกระบวนการภายใน เป็นชุดความคิดในการได้มาซึ่งแนวทางหรือวิธีในการโต้แย้งว่าจะดำเนินการโต้แย้งอย่างไรจึงจะบรรลุวัตถุประสงค์ที่ตนเองกำหนดไว้ได้ เช่น “ฉันจะอย่างไรเพื่อโน้มน้าวให้เขาเชื่อเหมือนกันกับฉัน...หากฉันใช้หลักฐานลำดับแรกแล้วเขาเริ่มเชื่อ ฉันจะใช้หลักฐานที่สองเพื่อร่วมสรุปการเห็นพ้องต้องกันกับเขา...แต่หากหลักฐานลำดับแรกยังไม่ทำให้เขาเอนเอียงได้ ฉันจะแสดงให้เห็นอย่างไรว่าหลักฐานของเขาขาดความน่าเชื่อถือในประเด็นใดบ้าง...” ที่จัดเป็นการโต้แย้งภายในบุคคลและการโต้แย้งเชิงวิเคราะห์ (analytic argumentation) ที่แสดงถึงรูปแบบโครงสร้างของการโต้แย้ง (Mason & Santi, 1994) เปรียบได้กับกระบวนการภายนอก ที่เปรียบเสมือนกิจกรรมทางสังคมต่าง ๆ เช่น การนำเสนอข้อสรุป การโน้มน้าวในที่สาธารณะที่จัดเป็นการโต้แย้งระหว่างบุคคล

ตาราง 2

แนวคิดเกี่ยวกับกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

หน่วยงาน	แนวคิดอ้างอิง	ขั้นตอนกระบวนการที่กำหนดไว้
NRC ¹ NSTA ² AAAS ³	NGSS	1) ระบุปัญหา 2) รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา 3) ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา 4) วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา 5) ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหา 6) นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหา หรือชิ้นงาน
กระทรวงทาง การศึกษา ⁶	Design Process ⁷	1) กำหนดความต้องการ 2) รวบรวมข้อมูล 3) สร้างแนวคิด 4) พัฒนาแนวคิด 5) สะท้อนผลการปฏิบัติ 6) ประเมินการปฏิบัติ
พิพิธภัณฑ์วิทยา- ศาสตร์บอสตัน ⁴	EIE ⁵	1) ค้นหาปัญหา 2) สร้างและเลือกแนวคิดที่เหมาะสม 3) วางแผนปฏิบัติ 4) ปรับปรุงให้ดีขึ้น
NSW ⁸	Technology Process	1) สำรวจและกำหนดงาน 2) สร้างและพัฒนาแนวคิด 3) ลงมือปฏิบัติ (แต่ระยะจะมีการวางแผน การจัดการ ควบคู่กับการประเมินผล)

หมายเหตุ: 1) สภาวิจัยแห่งชาติ ประเทศสหรัฐอเมริกา (National Research Council: NRC) 2) สมาคมครูวิทยาศาสตร์ แห่งชาติ (The National Science Teacher Association: NSTA) 3) สมาคมเพื่อความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ของ อเมริกา (The American Association for the Advancement of Science: AAAS) 4) พิพิธภัณฑ์วิทยาศาสตร์ บอสตัน ประเทศสหรัฐอเมริกา (Museum of Science, Boston) 5) การเรียนรู้เชิงวิศวกรรมร่วมกับเทคโนโลยี (Engineering and Technological Literacy or Engineering is Elementary: EIE) 6) กระทรวงทางการศึกษา ประเทศอังกฤษ (Department for Education) 7) โรงเรียนในสหราชอาณาจักรและโรงเรียนนานาชาติที่ใช้ระบบอังกฤษ (UK National Curriculum, International GCSE and IB Diploma) 8) หน่วยงานการศึกษาและการฝึกอบรม ของรัฐ นิวเซาท์เวลส์ ประเทศออสเตรเลีย (NSW Department of Education and Training, Australia)

ตาราง 2 แสดงขั้นตอนกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Engineering Design Process: EDP) จากหน่วยงานต่าง ๆ ที่มุ่งผสมผสานวิศวกรรมศาสตร์ (engineering) เป็นส่วนหนึ่งของการเชื่อมต่อการเรียนรู้สู่การประยุกต์ความรู้ มุ่งศึกษาแก้ปัญหาหรือพัฒนาสิ่งใดสิ่งหนึ่ง ไม่เพียงแค่สร้างชิ้นงานให้เสร็จใน ฐานะของสิ่งประดิษฐ์ แต่เป็นกระบวนการทำงานที่ได้ผลลัพธ์หรือแนวทางแก้ปัญหาที่อยู่บนความเหมาะสม (optimization) เพื่อตอบสนองความต้องการหรือเป้าหมายที่มนุษย์กำหนด ในการวิเคราะห์เชิงเนื้อหา เกี่ยวกับความหมายและรายละเอียดแต่ละขั้นจากกรอบแนวคิดต่าง ๆ พบเป็นขั้นตอนที่มีลักษณะร่วม โดยสามารถจำแนกได้ดังนี้

1. การกำหนดปัญหา (define the problems or needs) อ้างอิงจากประสบการณ์ สถานการณ์ ปัญหา เหตุการณ์ในชีวิตประจำวัน ความต้องการ การสังเกต และการอนุมาน
2. การระบุข้อจำกัด (identify the constraints) โดยคำนึงถึง เวลา เงินทุน วัสดุองค์ประกอบอื่น ๆ ที่จะมีผลต่อแนวทางการดำเนินการในการแก้ปัญหา รวมถึงการระบุเกณฑ์บ่งชี้เพื่อให้บรรลุเป้าหมาย
3. การระดมความคิด (brainstorm) เพื่อหาแนวทางแก้ปัญหาที่เป็นไปได้ มีความหลากหลาย และ มีความสร้างสรรค์ หรือพัฒนาแนวทางแก้ปัญหาที่มีอยู่เดิมบนพื้นฐานของวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และ เทคโนโลยี โดยการสืบค้นและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับแนวคิดหรือการวิจัยให้เพียงพอเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว
4. การเลือกแนวทางแก้ปัญหา (select the most promising solution) เพื่อตั้งสมมติฐาน กำหนดขั้นตอนหรือวางแผนการดำเนินการออกแบบการทดลองหรือวิธีแก้ปัญหา กำหนดแนวทางป้องกัน ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นและมาตรการหรือแผนสำรองในการดำเนินการ

5. การสร้างต้นแบบหรือแนวทางแก้ปัญหา (prototype your solution) จัดสร้างต้นแบบหรือแนวทางแก้ปัญหา

6. การทดสอบและประเมินตัวต้นแบบ (test and evaluate your prototype) โดยการเก็บข้อมูลจากการทดสอบ เพื่อประเมินแนวทางหรือต้นแบบว่าสามารถบรรลุเป้าหมายที่กำหนดได้หรือไม่อย่างไร

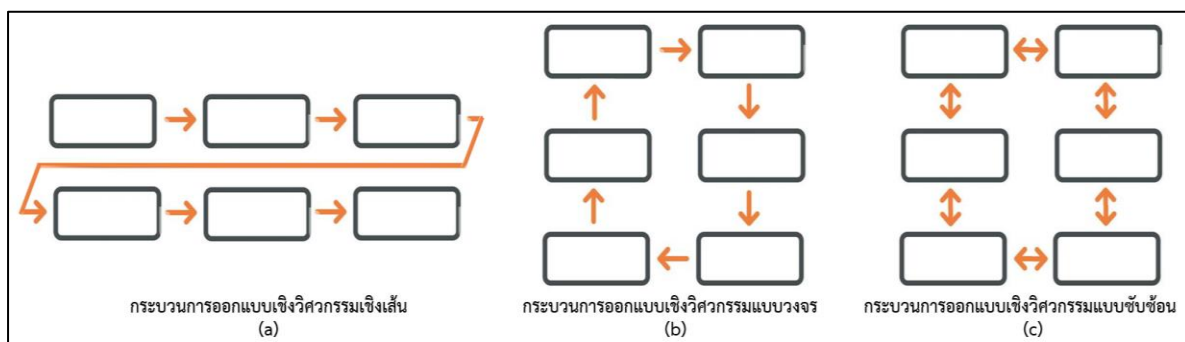
7. การทดสอบซ้ำเพื่อปรับปรุงตัวต้นแบบ (iterate to improve your prototype) หรือปรับปรุงการออกแบบจากข้อมูลที่รวบรวมผ่านการทดลองหรือการทดสอบที่ผ่านมา เมื่อผ่านการปรับปรุงแล้ว ในการทดสอบซ้ำสำหรับชิ้นงานหรือแนวทางแก้ปัญหาจะมีประสิทธิภาพมากขึ้นเพื่อให้บรรลุตามที่กำหนดไว้

8. การนำเสนอผลการศึกษา (communicate your solution) อาจอยู่ในรูปของชิ้นงาน แนวทางในการแก้ปัญหา หรือ กระบวนการดำเนินการ

จากการศึกษาที่ผ่านมา สามารถจำแนกโมเดลตัวแทนความคิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่พบได้ในงานวิจัยภายใต้บริบทการศึกษาไทย มีทั้งแบบที่เป็นกระบวนการเชิงเส้น เกิดขึ้นตามลำดับก่อน-หลัง ซึ่งถูกกำหนดไว้ (ภาพ 3a) เป็นกระบวนการแบบวงจร เมื่อถึงขั้นสุดท้ายแล้วจะย้อนกลับไปขั้นแรกใหม่ (ภาพ 3b) หรือเป็นกระบวนการที่ซับซ้อน มีความสัมพันธ์ที่สามารถดำเนินการไป-กลับระหว่างแต่ละขั้นเพื่อให้บรรลุเป้าหมายเฉพาะ (ภาพ 3c) ซึ่งเป็นความท้าทายของผู้สอนในการออกแบบการเรียนรู้ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมให้เหมาะสมต่อระดับชั้น ความรู้ และประสบการณ์เดิมของผู้เรียน ดังแสดงสถานการณ์ตัวอย่างในตารางที่ 3

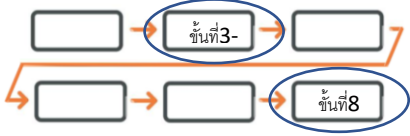
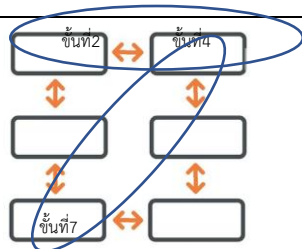
ภาพ 3

โมเดลตัวแทนความคิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมในลักษณะต่าง ๆ



ตาราง 3

ตัวอย่างสถานการณ์จัดการเรียนรู้ด้วยโมเดลตัวแทนความคิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมลักษณะที่แตกต่าง

	สถานการณ์ A ระดับชั้น ป.3	สถานการณ์ B ระดับชั้น ม.2
ตัวชี้วัด	ว2.2 ป.3/3 จำแนกวัตถุโดยใช้การตั้งคำถามแม่เหล็กเป็นเกณฑ์จากหลักฐานเชิงประจักษ์	ว2.2 ม.2/11 เปรียบเทียบสนามแม่เหล็ก สนามไฟฟ้า สนามโน้มถ่วง และทิศทางของแรงที่กระทำต่อวัตถุที่อยู่แต่ละสนามจากข้อมูลที่รวบรวม
รายละเอียดสถานการณ์	กระบะเก็บของในห้องวิทยุฯ มีวัสดุหลายชนิดและขนาดแตกต่างกัน 20 ชิ้น โดยครูทำหมุดปลายแหลม 10 ชิ้น หล่นในกระบะดังกล่าวปะปนกับวัสดุอื่น ๆ มองไม่ค่อยเห็นว่าอยู่ที่ใด ค่อนข้างอันตรายหากใช้มือหยิบ นักเรียนจะช่วยคุณครูเก็บหมุดปลายแหลมออกจากกระบะอย่างไร โดยคุณครูมีแม่เหล็กให้กลุ่มละ 2 แท่ง โดยหลังห้องมีของที่สามารถนำมาใช้ประดิษฐ์ร่วมกันได้อยู่ แต่เพื่อให้แต่ละกลุ่มได้ของเท่า ๆ กัน ครูขอให้แต่ละกลุ่มปรึกษาวางแผน แล้วไปเลือกอุปกรณ์เพิ่มได้ 2 ชิ้น ซึ่งครูจะเตรียมเทปกาวใสและเชือกป่านไว้ให้	ในวิชาพละ ม.2 เป็นการเรียนบาสเกตบอล ฟุตบอล วอลเลย์บอล ครุพละเตรียมอุปกรณ์ไว้เพียงพอ แต่ห้องเก็บอุปกรณ์อยู่ห่างจากสนามฝึกซ้อม 2 กิโลเมตร นักเรียนต้องช่วยกันเข็นรถเข็น 8 คัน ซึ่งใช้เวลาเกือบ 20 นาที และใช้เวลาฝึกซ้อมน้อยลง ทางผู้อำนวยการทราบเรื่องคิดที่จะช่วยเหลือโดยการติดตั้งรางแม่เหล็กให้ หากนักเรียนสามารถสร้างหรือพัฒนาตะกร้ารถเข็นต้นแบบที่ใช้งานกับรางแม่เหล็กข้างต้นได้ โดยแต่ละกลุ่มจะได้แม่เหล็ก (ที่มีขั้วเหนือและขั้วใต้) กลุ่มละ 10 แท่ง โดยครูเตรียมรางแม่เหล็กจำลองความยาว 3 เมตร ไว้ให้นักเรียนทดสอบ โดยมีระยะเวลาให้นักเรียนลองสร้าง ทดสอบ เก็บรวบรวมข้อมูล 4 สัปดาห์ แล้วให้นักเรียนแต่ละกลุ่มนำเสนอต้นแบบและผลการดำเนินการ หากมีกลุ่มใดที่มีแนวคิดที่สามารถพัฒนาต่อยอดหรือทำได้จริง ผู้อำนวยการจะจัดสรรงบประมาณสนับสนุนให้
ประสิทธิภาพของแนวทางแก้ปัญหา	ครูเป็นผู้กำหนดประสิทธิภาพ “อุปกรณ์ของกลุ่มใดเก็บหมุดปลายแหลมได้จำนวนมากที่สุดในเวลา 1 นาที คืออุปกรณ์ที่ผ่านเกณฑ์”	นักเรียนแต่ละกลุ่มกำหนดประสิทธิภาพตัวต้นแบบเอง เช่น กลุ่ม A ใช้ประโยชน์จากแม่เหล็กและใช้จำนวนคนเข็นน้อยลง กลุ่ม B จะใช้เวลาในการขนน้อยลง กลุ่ม C รถเข็นวิ่งไปตามรางจนถึงที่หมายได้ด้วยการเข็น 1 ครั้ง
โมเดลตัวแทนความคิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม		

หมายเหตุ: แผนภาพข้างต้นแสดงเฉพาะขั้นตอนกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่นำมาวิพากษ์เป็นกรณีตัวอย่างในการเปรียบเทียบ

ตาราง 4

ตัวอย่างการกิจกรรมโต้แย้งในโมเดลตัวแทนความคิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมลักษณะที่แตกต่าง

ตัวอย่าง	สถานการณ์ A ระดับชั้น ป.3	สถานการณ์ B ระดับชั้น ม.2
การโต้แย้งในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม	ขั้นที่ 3 การระดมความคิด และ ขั้นที่ 4 การเลือกแนวทางแก้ปัญหา ผู้สอนกำหนดประเด็นในการโต้แย้งภายในแต่ละกลุ่ม โดยให้ผู้เรียนแต่ละคนร่างแบบที่จะนำไปสร้าง ก่อนจะให้แต่ละคนอธิบายแนวคิดของแบบร่างอุปกรณ์เก็บหมุดปลายแหลมให้เพื่อนฟัง หลังจากนั้นให้สมาชิกแต่ละคนในกลุ่มมี 1 คะแนน โดยใช้คะแนนที่ตนมีสำหรับแบบที่ตนเองสนใจ (โดยผู้สอนกำหนด ไม่ให้คะแนนกับแบบร่างของตนเอง) แล้วครูจึงเลือก 2 แบบร่างที่คะแนนสูงสุด จากนั้นให้นักเรียนในกลุ่มแบ่งเป็น 2 ฝ่าย โต้แย้งกันหน้าชั้นเรียน โดยมีเป้าหมายเพื่อโน้มน้าวให้เพื่อนในชั้นเห็นด้วยกับแบบของตนเอง แต่ถึงผลการโหวตเป็นเช่นไร สมาชิกในกลุ่มสามารถตัดสินใจเลือกแบบร่างได้เอง ขั้นที่ 8 การนำเสนอผลการศึกษา ผู้สอนกำหนดให้กลุ่มเจ้าของ อุปกรณ์เก็บหมุดปลายแหลมต้นแบบ นำเสนอและโน้มน้าวเพื่อนต่างกลุ่มให้เข้าใจถึงแนวคิดและประสิทธิภาพอุปกรณ์ที่กลุ่มตนเองพัฒนาขึ้น ในกิจกรรมระดมทุนผ่านการนำเสนอจุดเด่น จุดด้อย และการพัฒนาต่อในอนาคตต่อไป ซึ่งมุ่งเน้นการสนับสนุนการโน้มนำนั่น ๆ <u>ด้วยแนวคิดหรือหลักการทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับแม่เหล็ก</u>โดยแต่ละกลุ่มจะได้ทุนเริ่มต้น 10 เหรียญ (บนเหรียญจะระบุเลขกลุ่ม ท้ายกิจกรรมจะนับเฉพาะเหรียญจากกลุ่มอื่น)	ขั้นที่ 2 การระบุข้อจำกัด และ ขั้นที่ 4 การเลือกแนวทางแก้ปัญหา ผู้สอนให้ผู้เรียนแต่ละคนกำหนด<u>แนวทางแก้ปัญหาในสถานการณ์การขนย้ายรถเข็นอุปกรณ์กีฬาข้างต้น</u> คนละ 1 แนวทาง พร้อมทั้งกำหนดประสิทธิภาพในการประเมินแนวทางแก้ปัญหาคำหนดขึ้น เช่น ใช้เวลาน้อย ขนย้ายได้ที่ลื่นน้ำหนักมาก เป็นต้น โดยให้นักเรียนที่กำหนดประสิทธิภาพในการดำเนินการเหมือนกันหรือใกล้เคียงกันอยู่กลุ่มเดียวกัน เพื่อมาโต้แย้งกันว่าประสิทธิภาพของกลุ่มใดเหมาะสมที่สุดที่จะเป็นเกณฑ์กลางในการแก้ปัญหาครั้งนี้ โดยผู้สอนให้ผู้เรียนสืบค้นข้อมูลต่าง ๆ มาสนับสนุนเกณฑ์กำหนดประสิทธิภาพ เพื่อให้เป็นที่ยอมรับของส่วนรวม หลังจากนั้นให้เลือกบันทึกเกณฑ์ที่ตนเองเห็นว่าเหมาะสมที่สุด พร้อมให้เหตุผลประกอบ ขั้นที่ 7 การปรับปรุงตัวต้นแบบ และ ขั้นที่ 4 การเลือกแนวทางแก้ปัญหา เมื่อทุกกลุ่มทดสอบตัวต้นแบบการขนย้ายรถเข็นอุปกรณ์กีฬาครบแล้ว ครูชวนอภิปรายภายใต้ประเด็นกลุ่มใดจะปรับปรุงตัวต้นแบบฯ... “โดยต่อยอดจากแบบเดิม” หรือ “พัฒนาจากแบบร่างทางเลือกอื่น ๆ แทน” แล้วจึงจัดสถานการณ์โต้แย้งให้ผู้ฟังแบ่งเป็นสองฝ่าย คือ ฝ่ายที่เห็นด้วยควรเริ่มต้นแบบร่างใหม่ และ ฝ่ายที่ไม่เห็นด้วยเนื่องจากสามารถปรับแบบเดิมได้ โดยการโต้แย้งมุ่งเน้นการใช้ข้อมูลการทดสอบที่ทุกกลุ่มมีอยู่

ตาราง 4 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของโมเดลตัวแทนความคิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่ผู้เขียนเลือกใช้แตกต่างกัน โดยสถานการณ์ A ได้กำหนดเป็นโมเดลที่มีขั้นตอนแบบเชิงเส้น เนื่องจากผู้เรียนยังอยู่ในระดับชั้น ป.3 การทำงานอยู่ภายใต้การดูแลของผู้สอนอย่างใกล้ชิด ผู้สอนทำหน้าที่อำนวยความสะดวก และเพื่อให้แน่ใจว่าผู้เรียนทำงานในแต่ละขั้นได้เรียบร้อย ไม่ได้ต้องการให้ผู้เรียนที่ทำงานต้นแบบอุปกรณ์เก็บหมุดปลายแหลมไม่สำเร็จกลับไปเริ่มที่ขั้นตอนแรกใหม่ เพราะมุ่งหมายให้ผู้เรียนมี

ประสบการณ์ทั้งผ่านการทำงานในกลุ่มของตนเอง และมีประสบการณ์ร่วมกับการทดสอบของกลุ่มอื่น ๆ โดยผู้เขียนเสนอแนะให้เพิ่มการโต้แย้งเข้าไปในระหว่างกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมขั้นที่ 3 กับ 4 โดยมุ่งเน้นใช้กลไกหลักคือ การโน้มน้าว เพื่อนำไปสู่การตัดสินใจ ในขณะที่ขั้นที่ 8 จะใช้กลไกของการโต้แย้งอีกครั้งด้วยการมุ่งเน้นการใช้หลักฐานที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพแล้ว เพื่อหลีกเลี่ยงการโน้มน้าวที่ใช้ความรู้สึกหรือประสบการณ์เดิมของผู้เรียนเท่านั้น

ในขณะที่สถานการณ์ B ได้กำหนดโมเดลที่มีความซับซ้อน ย้อนไปมาระหว่างขั้นตอนต่าง ๆ ได้เนื่องจากผู้เรียนในระดับชั้น ม.2 กับการทำงานเพื่อหาแนวทางแก้ปัญหาในโลกจริง หากดำเนินการไม่บรรลุหรือไม่ได้ประสิทธิภาพตามที่กำหนดไว้ จะสามารถกลับไปยังขั้นตอนที่เกี่ยวข้องเพื่อเริ่มดำเนินการจากจุดนั้นได้ โดยผู้เขียนเสนอแนะให้เพิ่มการโต้แย้งเข้าไปในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมขั้นที่ 2 กับ 4 โดยมุ่งเน้นที่การตัดสินใจเกี่ยวกับการเลือกเกณฑ์กำหนดประสิทธิภาพของการออกแบบแนวทางแก้ปัญหาการขนย้ายรถเข็นอุปกรณ์กีฬา โดยเตรียมประเด็นในการชักใช้โต้แย้งประกอบการโต้แย้ง เช่น เกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพนั้นสามารถทดสอบได้อย่างไร เกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพนั้นเป็นไปได้ในทางปฏิบัติอย่างไร เกณฑ์ประเมินประสิทธิภาพนั้นจะให้ข้อสรุปได้อย่างไร เพื่อให้ผู้เรียนอยู่ในสถานการณ์ที่ตัวเองได้รับการสนับสนุนหรือลดทอนคุณค่าเป็นระยะ ก่อนที่จะนำไปสู่กลไกการตัดสินใจผ่านการโต้แย้งในขั้นที่ 7 ที่กำหนดกิจกรรมการโต้แย้งที่มุ่งใช้กลไกการตรวจสอบกระบวนการดำเนินการทดสอบที่ผ่านมาของกลุ่มนั้น ๆ เพื่อนำไปสู่การตัดสินใจว่าจะย้อนกลับไปเลือกแบบร่างอื่นมาใช้พัฒนาแทนหรือไม่ โดยการร่วมวิพากษ์เกี่ยวกับข้อมูลหรือหลักฐานเชิงประจักษ์ที่มีอยู่ในประเด็นที่เกี่ยวข้อง เช่น หากปรับแบบร่างเดิมหลายส่วนกับเริ่มร่างแบบใหม่แล้วกำหนดรายละเอียดที่ชัดเจนเช่นกัน แนวทางใดจะสะดวกมากกว่ากัน เป็นต้น ทำให้พบได้ว่าการโต้แย้งนั้นเกิดได้ในหลายจังหวะของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม อยู่ที่คุณสอนจะกำหนดให้การโต้แย้งใดเป็นการโต้แย้งภายในกลุ่ม หรือ เป็นการโต้แย้งในชั้นเรียน อย่างไรก็ตามสำหรับกิจกรรมการโต้แย้งถึงจะเป็นกิจกรรมภายในกลุ่มหรือภายในชั้นเรียนแล้วนั้น แต่ผู้สอนยังสามารถติดตามข้อกล่าวอ้างหรือการลงข้อสรุปรายบุคคลได้เช่นกัน

รายการประเด็นคำถามสำหรับการโต้แย้งในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

สำหรับการออกแบบการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นการพัฒนาแนวปฏิบัติโต้แย้งในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้สอนมีความเข้าใจ สามารถจำแนก และเลือกใช้กลไกการโต้แย้งระหว่างการพิสูจน์ตรวจสอบ การโน้มน้าว การตัดสินใจ ร่วมกับพื้นที่เชิงนิเวศการเรียนรู้ทางวิศวกรรม นำไปสู่การกำหนดเป็นรายการประเด็นคำถามสำหรับการโต้แย้งในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ซึ่งจำแนกกระบวนการวิศวกรรมออกเป็น 4 ส่วนหลัก คือ การกำหนดปัญหา การรวบรวมข้อมูลเพื่อวางแผนในการดำเนินการ การสร้างและพัฒนาตัวต้นแบบหรือแนวทางในการแก้ปัญหา และการนำเสนอผลการศึกษาที่สอดคล้องเป้าหมายของการโต้แย้งในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม 8 เป้าหมาย เพื่อมุ่งให้ผู้เรียนแก้ปัญหาหนึ่ง ๆ ได้เฉกเช่นกับวิศวกร ซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 5 เป็นแนวทางในการกำหนดกิจกรรมการเรียนรู้โต้แย้งที่มุ่งให้ผู้เรียนแก้ปัญหา หรือการเรียนรู้เชิงวิศวกรรมที่ผสมผสานการโต้แย้ง

ตาราง 5

รายการประเด็นคำถามสำหรับการโต้แย้งในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

กระบวนการวิศวกรรม	เป้าหมายการโต้แย้ง	ตัวอย่างประเด็นคำถามที่ใช้ขับเคลื่อนการโต้แย้ง
1 การกำหนดปัญหา	1) โต้แย้งให้ได้ว่า ซึ่งปัญหาหรือ ประเด็นในการศึกษา	- เป้าหมายของการค้นหาปัญหาคืออะไร - ปัญหาที่ควรระบุเพื่อศึกษามีลักษณะอย่างไร - ทำอย่างไรจึงจะค้นพบปัญหาในลักษณะนั้น - ปัญหานั้นสอดคล้องกับบริบทอย่างไร
	2) โต้แย้งให้ได้ เงื่อนไข ข้อจำกัด และความต้องการ	- จะได้ว่าเงื่อนไขหรือข้อจำกัดที่ครอบคลุมอย่างไร - จะตั้งเกณฑ์อย่างไรเพื่อแสดงถึงการบรรลุเป้าหมาย - เกณฑ์ข้างต้นมีความสอดคล้องกับเงื่อนไขและข้อจำกัดอย่างไร
2 การรวบรวมข้อมูลเพื่อ วางแผนในการ ดำเนินการ	3) โต้แย้งให้ได้ว่าซึ่ง แนวทางรวบรวมข้อมูล แนวทางรวบรวมข้อมูล แนวทางดำเนินการแก้ปัญหาที่เหมาะสม	- ต้องสืบค้นข้อมูลใดบ้าง จากแหล่งใด รู้ได้อย่างไรว่าข้อมูลเพียงพอต่อการศึกษ - เข้าใจถึงการหาแนวทางการแก้ปัญหาที่หลากหลาย - คณิต วิทยา เทคโนโลยี หรือ ศาสตร์อื่น สำคัญต่อการแก้ปัญหาอย่างไร - แนวทางแก้ปัญหาใดมีความเหมาะสมที่สุด
	4) โต้แย้งเกี่ยวกับ การวางแผน	- ทำไมถึงต้องกำหนดการทำงานเป็นขั้นตอน - การวางแผนสำรองในทันทีที่มีความจำเป็นอย่างไร
	5) โต้แย้งเกี่ยวกับ แนวคิดในการสร้าง และพัฒนาต้นแบบ	- การร่างแบบหรือการสร้างต้นแบบ มีความสำคัญอย่างไร - การทดสอบซ้ำแต่ละครั้งมีความสำคัญอย่างไร - การร่างแบบหรือการสร้างต้นแบบ ช่วยให้ประสิทธิภาพดีขึ้นอย่างไร
3 การแก้ปัญหา (ต้นแบบ คือ แบบร่าง แนวทางแก้ปัญหา แบบจำลอง หรือ ตัวอย่างที่ผู้เรียน พัฒนาขึ้น)	6) โต้แย้งเกี่ยวกับ การประเมินข้อมูล	- การทดสอบแต่ละครั้ง มีความเหมาะสมอย่างไร/ควรปรับปรุงอย่างไร - การเก็บ/บันทึกข้อมูลและหลักฐานที่ได้จากการทดสอบมีความเหมาะสมอย่างไร - การประเมินข้อมูลและหลักฐานมีความเหมาะสมอย่างไร
	7) โต้แย้งเกี่ยวกับ การทำงานร่วมกัน	- การทำงานกลุ่มอย่างมีประสิทธิภาพเป็นอย่างไร - การทำงานเสมือนเป็นวิศวกรในชั้นเรียนวิทยาศาสตร์มีความจำเป็นอย่างไร
4 การนำเสนอผล การศึกษา	8) โต้แย้งเกี่ยวกับ แนวทางดำเนินการ และผลที่ได้มา	- แนวทางดำเนินการและผลที่ได้จากการดำเนินการ มีความน่าเชื่อถือได้อย่างไร - แนวทางในการดำเนินการและผลที่ได้จากการดำเนินการ มีข้อดีที่นำไปใช้ต่อ และ ข้อจำกัดที่ควรปรับปรุงอย่างไร เพราะเหตุใดจึงเกิดข้อดีและข้อจำกัดนั้น

บทสรุป

ถึงแม้จะศึกษาจะถูกผลักดันเพื่อพัฒนาผู้เรียน แต่การสนับสนุนสำหรับผู้สอนที่ผ่านมามุ่งเน้นที่ความเข้าใจต่อความหมาย หลักการ แนวทาง หรือกระบวนการ บทความนี้จึงมุ่งขยายขอบเขตการสนับสนุนครูผู้สอนเพิ่มเติมหรือเลือกใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมในการจัดการเรียนรู้ ด้วยทางเลือกการในผสมผสานหน้าที่หรือกลไกของแนวปฏิบัติโต้แย้งที่มีลักษณะเป็นความรู้เชิงกระบวนการ (procedural knowledge) ที่มุ่งแสดงถึงการสอนหรือฝึกฝนให้ผู้เรียนทำสิ่งใดสิ่งหนึ่งได้ ทั้งนี้การที่ผู้สอนมีความเข้าใจและจำแนกความแตกต่างระหว่างการโต้แย้งเชิงโครงสร้างและการโต้แย้งเชิงสนทนา รวมถึงการเลือกใช้เพื่อออกแบบประสบการณ์เรียนรู้สำหรับผู้เรียนได้อย่างเหมาะสม จะช่วยให้ทุกจังหวัดหัวใจการเรียนรู้หรือลงมือแก้ปัญหาของผู้เรียนมีพื้นที่สำหรับการวิพากษ์เพื่อมุ่งไปสู่การพิสูจน์ตรวจสอบ โน้มน้าว หรือตัดสินใจ ตามเป้าหมายของการเรียนรู้หรือการแก้ปัญหาที่กำหนดในบทเรียนนั้น ๆ

อีกทั้งยังส่งเสริมการสะท้อนคิดระหว่างกิจกรรมต่าง ๆ ที่จะช่วยให้ผู้เรียนรู้ถึงความเป็นเจ้าของในการเรียนรู้ของตนเองได้มากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม กรอบแนวคิดแนวปฏิบัติได้แจ้งในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมและรายการประเด็นคำถามสำหรับการโต้แย้งในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่ปรากฏในบทความฉบับนี้ สามารถใช้เป็นต้นแบบในการพัฒนาแนวปฏิบัติวิทยาศาสตร์หรือวิศวกรรมศาสตร์อื่น เพื่อเติมเต็มการพัฒนาบทเรียนวิทยาศาสตร์หรือบทเรียนสะเต็ม ที่มุ่งส่งเสริมให้ผู้เรียนมีความพร้อมในการบูรณาการศาสตร์เพื่อแก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน ที่มีความท้าทายต่อทั้งผู้สอนและนักพัฒนาหลักสูตรที่จะนำไปปฏิบัติให้มีความเหมาะสมต่อบริบทการเรียนการสอน เพื่อขับเคลื่อนผู้เรียนในลำดับต่อไป

รายการอ้างอิง

- Antink-Meyer, A., & Brown, R. A. (2019). Nature of engineering knowledge. *Science & Education*, 1–21.
- Berland, L. K., & Reiser, B. J. (2009). Making sense of argumentation and explanation. *Science Education*, 93(1), 26–55.
- Capobianco, B. M., Diefes-dux, H. A., Mena, I., & Weller, J. (2011). What is an engineer? Implications of elementary school student conceptions for engineering education. *Journal of Engineering Education*, 100(2), 304–328.
- Chen, Y.-C., & Terada, T. (2021). Development and validation of an observation-based protocol to measure the eight scientific practices of the next generation science standards in K-12 science classrooms. *Journal of Research in Science Teaching*, 58(10), 1–38.
- Chen, Y.-C., Lin, J.-L., & Chen, Y.-T. (2014). Teaching scientific core ideas through immersing students in argument: Using density as an example, *Science Activities: Classroom Projects and Curriculum Ideas*, 51(3), 78–88.
- Cunningham, C., M., & Kelly, G. J. (2017). Epistemic practices of engineering for education. *Science Education*, 101(3), 486–505.
- Erduran, S., Simon, S., & Osborne, J. (2004). TAPping into argumentation: Developments in the application of Toulmin's argument pattern for studying science discourse. *Science Education*, 88(6), 915–933.
- Konstantinidou, A., & Macagno, F. (2012). Understanding students' reasoning: Argumentation schemes as an interpretation method in science education. *Science & Education*. 22, 1069–1087.
- Kelly, G. J. (2016). Methodological considerations for the study of epistemic cognition in practice. In J. A. Greene, W. A. Sandoval, & I. Braten (Eds.) *Handbook of epistemic cognition*. 393–408.
- Kelly, G. J., & Licona, P. (2018). Epistemic practices and science education. *History, philosophy and science teaching: New perspectives, Switzerland: Springer*. 139–165

- Lin, S. & Mintzes, J. J. (2010). Learning argumentation skills through instruction in socioscientific issues: The effect of ability level. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 8(6), 993-1017.
- Mason, L., & Santi, M. (1994, April 4-8). Argumentation structure and metacognition in constructing shared knowledge at school. *Paper presented at the American Educational Research Association (AERA), Annual Meeting, New Orleans.*
- National Research Council. (2012). A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas. *The National Academies Press.*
- NGSS Lead States. (2013). Next generation science standards: For States, By States. *The National Academies Press.*
- Osborne, J. F. & Patterson, A. (2010). Scientific argument and explanation: A necessary distinction? *Science Education*, 95(4), 627-638.
- Pleasant, J., & Olson, J. K. (2018). What is engineering? Elaborating the nature of engineering for K-12 education. *Science Education*. 103(1), 145-166.
- Sampson, V., & Clark, D. (2008). Assessment of the ways students generate arguments in science education: Current perspectives and recommendations for future directions. *Science Education*, 92(3), 447-472.
- Simon, S., Erduran, S., & Osborne, J. (2006). Learning to teach argumentation: Research and development in the science classroom. *International Journal of Science Education*, 28(2-3), 235-260.
- Toulmin, S. E. (2003). The uses of argument. *London: Cambridge University Press.*
- Zollman, A. (2012). Learning for STEM literacy: STEM literacy for learning. *School Science and Mathematics*, 112(1), 12-19.